

## KONSERVASI ENERGI PADA VACUUM PUMP SISTEM UNTUK PEMASAKAN GULA DENGAN JET CONDENSER

Arif Fathurohman.

Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada, Jakarta

[Afathng@gmail.com](mailto:Afathng@gmail.com)

### ABSTRAK

Pada proses pengolahan gula, system *vacuum* pada bagian pemasakan dan penguapan gula merupakan bagian yang memerlukan energi cukup besar, kondisi *vacuum* diperlukan untuk menurunkan temperature didih nira gula pada *vacuum pan*. Penggantian *condenser* dari jenis *Surface Condenser* mau pun *Barometric Condenser* dengan *Jet Condenser* bisa menghilangkan kebutuhan akan pompa *vacuum*, sehingga untuk setiap *vacuum pan* bisa dihemat daya listrik sebesar 45 Kw, dengan kondisi *vacuum* terjaga pada 650mmHg dan kebutuhan air menurun sebesar 30 %.

**Kata kunci:** Konservasi, Condenser, Vacuum, Boiling, SCADA

### ABSTRACT

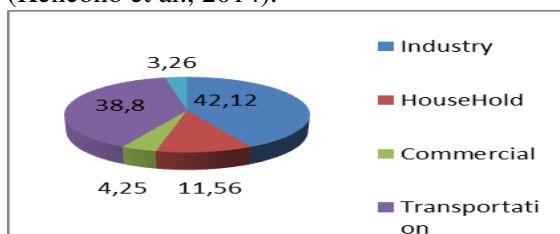
*Sugar factories consume high amount of energy in the vacuum system for liquor boiling, vacuum condition must be present to reduce liquor boiling point in the vacuum pan. Modify condenser system from surface or barometric condenser will remove vacuum pump required, so will reduce around 45 Kw electrical power for each vacuum pan, while maintaining vacuum condition at 650mmHg and also reduced water consumption around 30%*

**Keywords :** Conservation, Condense, Vacuum, Boiling, SCADA

### PENDAHULUAN

Tingkat konsumsi energi di Indonesia hingga tahun 2014 tergolong tinggi dan selalu meningkat, pada tahun 2014 tercatat konsumsi energi Indonesia berada pada 174,8 MTOE dan tumbuh sebesar 3,06% dari konsumsi energi di tahun 2013 (British Petroleum, 2015). Sementara intensitas konsumsi energi per kapita mencapai 4,05 BOE pada tahun 2013 dan intensitas konsumsi energi sebesar 3,85 BOE/Ribu USD (Kencono, Adam, Baruna, & Ajiwihanto, 2014).

Sektor Industri merupakan sektor dengan penggunaan energi terbesar mencapai 42,12% dari total konsumsi energi nasional (Kencono et al., 2014).



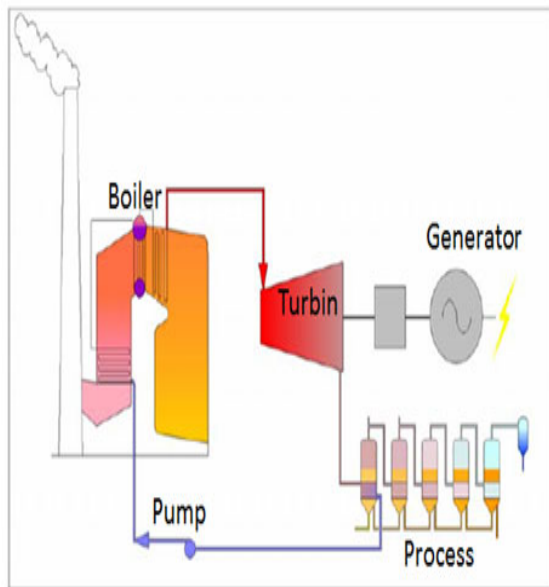
Gambar 1. Konsumsi Energi berdasarkan Sektor Tahun 2013.

Kebijakan energi nasional mengharuskan produsen dan konsumen energi melakukan langkah-langkah konserasi dan efisiensi pengelolaan sumber daya energi untuk menjamin ketersediaan energi dalam jangka panjang (SETNEG, 2014). Hal ini juga didorong dengan kewajiban kepada sektor industri untuk melakukan langkah-langkah konservasi energi, identifikasi potensi penghematan energi melalui audit energi sebagai salah satu alat (Simatupang, Hafiz, & Sasongko, 2011).

Industri gula baik yang berbasis perkebunan maupun rafinasi merupakan salah satu industri yang konsumsi energinya sangat tinggi, pada industri gula energi diperlukan dalam berbagai bentuk yaitu uap dan listrik.

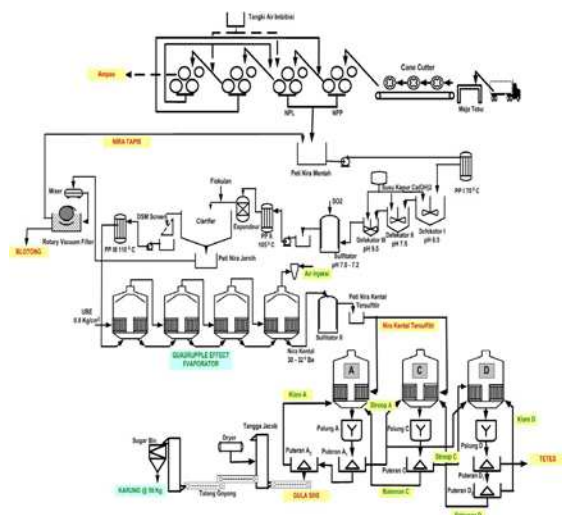
Untuk memenuhi kebutuhan akan uap dan listrik, setiap industri gula memiliki tungku uap dengan berbagai jenis bahan bakar sesuai yang tersedia di area terdekatnya, bisa berupa bagas maupun batu bara (Hasan, Mahlia, & Nur, 2012). Tipikal dari alur

pemanfaatan energi pada pabrik gula adalah seperti pada gambar berikut :



Gambar 2. Tipikal alur pemanfaatan energi di pabrik gula

Proses pengolahan gula pada gula yang berbasis perkebunan memiliki sedikit perbedaan dengan pabrik gula rafinasi, yaitu pada bagian penggilingan tebu, dan bagian afinasi, begitu pula dengan sumber energi yang digunakan pada ke dua jenis pabrik tersebut, pabrik gula perkebunan memanfaatkan energi dari bagas tebu pada musim giling, sementara pabrik gula rafinasi rata-rata menggunakan batu bara sebagai bahan bakar tungku uap (Astuti, 2010)(Santoso, 2014)

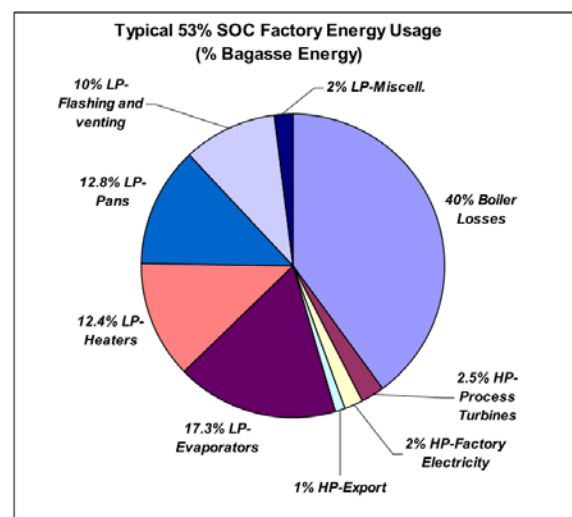


Gambar 3. Alur proses produksi pada pabrik gula perkebunan



Gambar 4. Alur proses produksi pada pabrik gula rafinasi

Pemakaian energi pada pabrik gula utamanya berupa pemakaian uap, dan energi listrik dihasilkan sebagai pemanfaatan lain dari pembangkitan uap tersebut, dengan menggunakan turbin dan generator, selain untuk menghasilkan listrik turbin juga berfungsi untuk menurunkan tekanan pada uap, agar sesuai dengan tekanan dan temperatur yang diperlukan pada bagian proses pengolahan. (Lavarack, Hodgson, Broadfoot, Vigh, & Venning, 2004) telah melakukan penelitian penggunaan energi pada pabrik gula perkebunan dan didapatkan hasil tipikal dari pemakaian energi untuk setiap bagian proses pengolahan gula



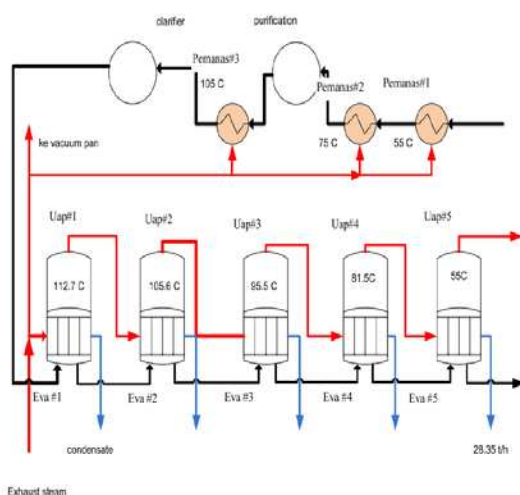
Gambar 5. Penggunaan Energi di Pabrik Gula

Pemakaian energi dominan di pabrik gula secara berurutan adalah kerugian boiler,

evaporator, vacuum pan, pemanas air dan flashing. Berbagai riset telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pemakaian energi untuk setiap bagian produksi.

Pada ketel uap peningkatan efisiensi dilakukan dengan kontrol operasional yang tepat, pemilihan bahan bakar, pengontrolan kualitas air dan berbagai parameter lainnya (Patel, C. T., & Patel, 2013). Efisiensi juga ditingkatkan dengan memanfaatkan sistem kogenerasi (Ogden, Hochgreb, & Hylton, 1990). Perbaikan sistem condensate recovery dan sistem condenser pada turbin uap (Joshi, n.d.)

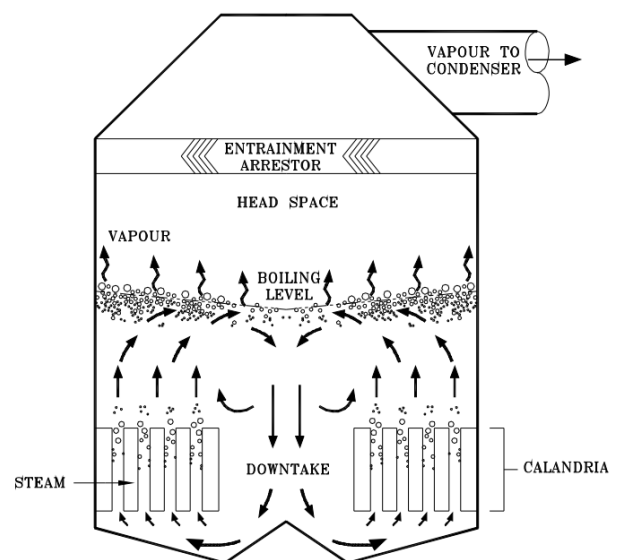
Pemakaian energi terbesar lainnya adalah pada bagian evaporator, bagian ini berfungsi untuk meningkatkan kekentalan sirup gula sebelum masuk ke dalam vacuum pan pada proses pemasakan. Proses dilakukan dengan memanaskan sirup dengan uap, sehingga brix akan naik dari sekitar 55% menjadi kisaran 60 s/d 65 %. Konsumsi energi pada evaporator didominasi oleh energi panas dari uap, berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pada evaporator. Untuk meningkatkan efisiensi evaporator dilakukan dengan pemilihan type evaporator yang tepat, dan dengan menggunakan multiple effect evaporator, pada pabrik gula perkebunan biasa menggunakan hingga lima effect evaporator yang dihubungkan secara serial (Santoso, 2014)(Rifai, 2013)



Gambar 6. Multiple Effect Evaporator

Vacuum Pan merupakan bagian yang berfungsi untuk melakukan pemasakan dan mengubah sirup gula kental yang sering

disebut juga sebagai liquor menjadi massecuite, dengan brix dari 60 menjadi brix 96. Proses kristalisasi gula pada vacuum pan dilakukan dengan mendidihkan gula pada temperatur antara 65 s/d 85 C dengan kondisi rata-rata pada 75 C dengan tekanan pada kisaran 4 inchHg s/d 9 Inch Hg. (Ziegler, n.d.), Proses pada tekanan lebih rendah akan mengurangi sirkulasi pada vacuum pan, dan sementara proses pada temperatur lebih tinggi akan menyebabkan penurunan kadar gula.



Gambar 7. Vacuum Pan

Untuk meningkatkan unjuk kerja pada vacuum pan beberapa parameter utama yang perlu dikontrol antara lain adalah (Rackemann & Broadfoot, 2005) :

1. Mengurangi tekanan pada kalandria
2. Meningkatkan koefisien perpindahan panas.
3. Meningkatkan kecepatan sirkulasi.

Berbagai metode untuk meningkatkan unjuk kerja dan efisiensi energi pada vacuum pan telah diteliti, mulai dari yang sederhana mau pun yang bersifat kompleks.

Sirkulasi pada saat mendidihkan gula memegang peranan penting dalam proses pengolahan gula, yaitu setidaknya berpengaruh pada hal-hal berikut :

- Mutu : Meningkatkan keseragaman ukuran kristal gula, dan juga menurunkan warna gula karena keseragaman pada kondisi fluida di

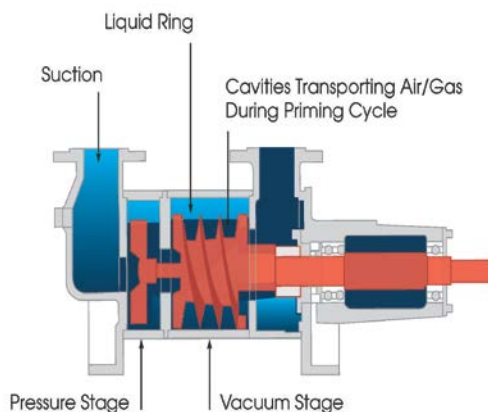
dalam vacuum pan Sikulasi yang baik akan bisa menghilangkan daerah stagnan. Ketidak seragaman kondisi panas dan dingin akan menimbulkan perbedaan pada level super saturasi dan pertumbuhan kristal.

- Peningkatan Perolehan gula : Konsentrasi bagian kering pada massecuite akan meningkat, hal ini akan mengurangi jumlah molase yang dihasilkan, dan juga mengurangi kandungan gula pada molase.

- Kapasitas : Peningkatan perpindahan panas akan menghasilkan tingkat kristalisasi yang lebih tinggi dan meningkatkan hasil produksi.

Untuk meningkatkan sirkulasi pada saat mendidihkan gula, ada penelitian yang menambahkan alat yang disebut dengan jigger (Rackemann & Broadfoot, 2005), selain itu ada pula yang menambahkan stirrer / pengaduk pada bagian atas dari vacuum pan, namun pemakaian stirrer ini memerlukan energi listrik tambahan sekitar 45 Kw untuk setiap vacuum pan (Peter W. Rein, 2004).

Kondisi Vacuum pada vacuum pan selama ini memanfaatkan vacuum pump yang memerlukan energi cukup banyak, vacuum pump yang sangat umum digunakan adalah vacuum pump dengan liquid ring (Converti & Borghi, n.d.). Liquid Ring vacuum pump memiliki keunggulan sifat sealant dari liquid yang digunakan sehingga bisa menghasilkan kondisi vacuum yang baik (Wikipedia, 2015a) (April & Rouillard, n.d.).



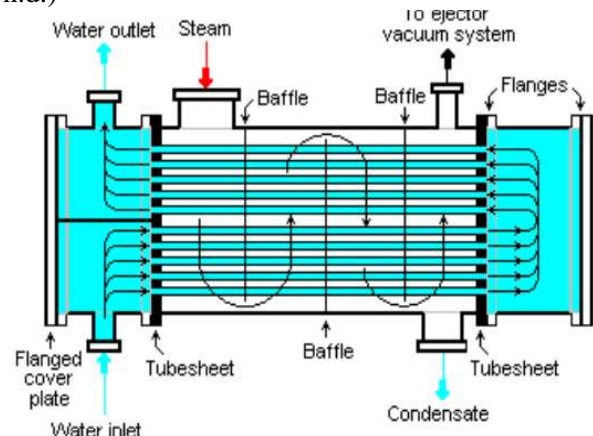
Gambar 8. Skema Liquid Ring Vacuum Pump

Penggunaan vacuum pump ini memerlukan konsumsi energi yang cukup besar, dalam kasus di PT. S ini untuk setiap vacuum pan dengan kapasitas 30 M3

memerlukan Vacuum Pump dengan daya sebesar 90 Kw pada awalnya, dengan operasional sepanjang hari meski pun saat sebagian vacuum pan tidak sedang beroperasi. Untuk mengurangi kebutuhan energi tersebut beberapa modifikasi pada sistem kondenser dilakukan.

Condenser merupakan salah satu bagian tambahan pada unit vacuum pan dan evaporator, fungsi utama dari condenser adalah untuk mengevaporasikan uap air yang terbentuk pada proses penguapan maupun pemasakan gula. Condenser pada prinsipnya adalah sebuah alat penukar panas dimana panas (umumnya panas laten) dibuang dengan mengubah uap menjadi cairan dengan bantuan cairan pendingin (Joshi, n.d.) dengan tekanan di bawah tekanan atmosfer (Wikipedia, 2015b). Jenis condenser secara umum terbagi menjadi dua, yaitu condenser tanpa kontak langsung dan condenser dengan kontak langsung.

Kondenser tanpa kontak langsung atau sering juga disebut sebagai *surface condenser* merupakan kondenser di mana antara uap dan cairan pendingin tidak terjadi kontak langsung dan dipisahkan dengan permukaan solid (Joshi, n.d.).



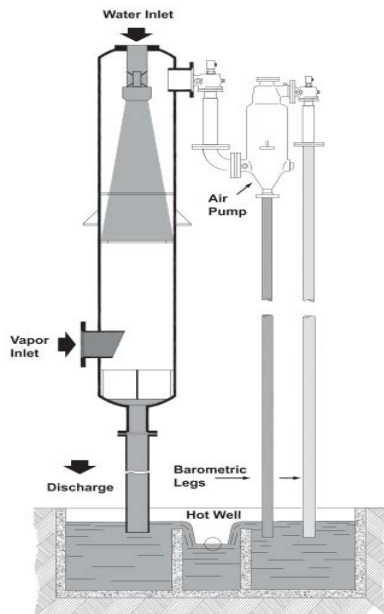
Gambar 9. Surface Condenser

Kondenser jenis kontak tidak langsung ini memiliki kelebihan yaitu konsumsi air yang sedikit, namun memiliki kelemahan diantaranya adalah memerlukan *ejector vacuum system* yang berfungsi untuk mengeluarkan gas-gas yang tidak bisa berubah menjadi cairan dan juga menghasilkan vacuum, energi yang diperlukan untuk sistem ini cukup besar, bisa berupa uap atau pun dengan menggunakan pompa vacuum. Selain itu juga memerlukan perawatan yang lebih



intensif, mengingat mudahnya terjadi endapan pada pipa-pipa kondenser.

Kondenser dengan kontak langsung merupakan kondenser yang antara uap dan cairan pendingin langsung kontak, kondenser jenis ini sudah digunakan semenjak abad ke-18 pada contohnya adalah *barometric condenser* pada *barometric condenser* standar air injeksi dimasukan dari bagian atas kondenser dan uap masuk pada bagian bawah kondenser, sehingga saat terjadi kontak antara air dan uap, uap akan berubah menjadi cairan. (Schuttle&Koerting, 2014).



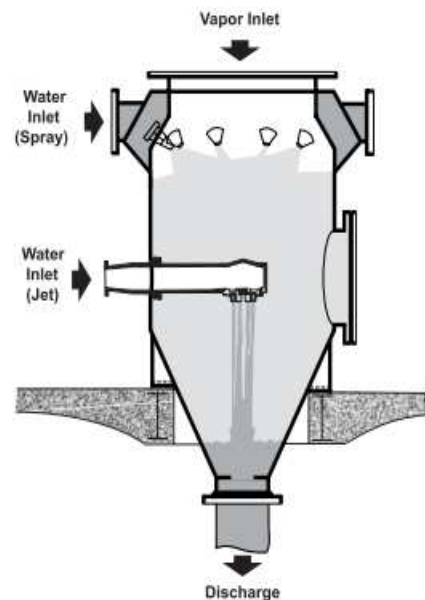
Gambar 10. Pemasangan Barometric Condenser Standar

Kondenser jenis ini sudah mampu mengatasi beberapa permasalahan yang ada pada kondenser jenis *surface condenser*, terutama pada kemudahan perawatan, dan kapasitas kondensasi yang lebih tinggi, dan juga terhindar dari adanya kerak yang menempel pada pipa-pipa. Namun masih memiliki kelemahan tidak adanya kemampuan menghasilkan vacuum yang diperlukan, sehingga masih diperlukan tambahan *vacuum pump* yang memerlukan energi cukup besar, pada kasus di PT. S ini memerlukan daya 45 Kw untuk setiap unitnya.

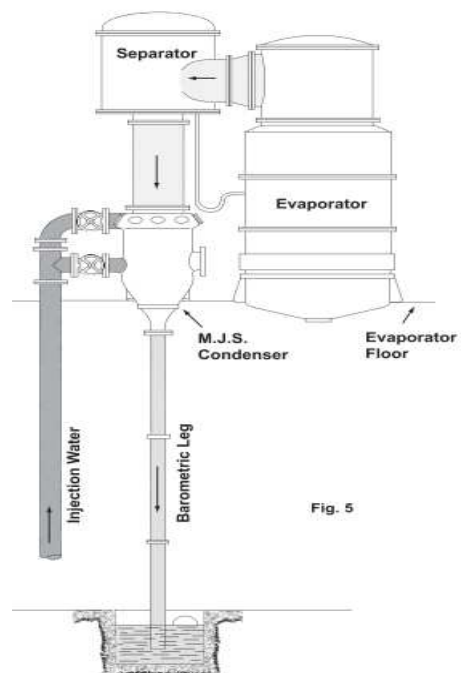
Inovasi selanjutnya dalam kondenser adalah jenis *Jet Condense* baik yang *Multi Jet Condenser* mau pun *Single Jet Condenser* (Schuttle&Koerting, 2014). Untuk jenis *Multi Jet Condenser* memerlukan dua jalur masukan air, satu jalur untuk *spray* pada bagian atas kondenser yang fungsi utama untuk proses kondensasi, dan satu jalur lain

berfungsi sebagai *jet* untuk menimbulkan efek vacuum. Pada jenis *Single Jet Condenser* jalur masukan air hanya ada satu, untuk jet dan spray, pengaturan dilakukan dengan bukaan katup.

Pada kondenser ini, jalur uap yang akan dikondensasikan berada pada bagian atas kondenser, *Spray* pada bagian sedikit di bawah dari jalur masukan uap dengan arah ke samping, dan *jet* berada pada posisi paling bawah, dengan tekanan air yang lebih tinggi.



Gambar 11. Multi Jet Barometric Condenser



Gambar 12. Pemasangan Multi Jet Barometric Condenser

Kondenser jenis ini selain mempunyai fungsi untuk kondensasi juga memiliki kemampuan untuk menghasilkan vacuum yang diperlukan pada proses pemasakan gula, sehingga diharapkan dapat menghilangkan kebutuhan akan vacuum pump.

## METODE

Percobaan dilakukan di PT.S dengan melakukan instalasi *Multi Jet Barometric Condenser* pada dua unit Vacuum Pan di Line satu. Data yang dikumpulkan adalah data pada instrumen yang tersedia pada *Vacuum Pan tersebut*. Yaitu terdiri dari : Tekanan Vacuum di dalam Vacuum Pan, Temperatur Masecuite di dalam Vacuum Pan, Temperatur air Injeksi, Arus Listrik untuk motor Agitator.

Analisa data dilakukan dengan membandingkan parameter tersebut dengan *Vacuum Pan* yang masih menggunakan *Barometric Condenser* standar, dan dilakukan analisa perhitungan penghematan energi listrik pada *Vacuum Pump* dan motor agitator.

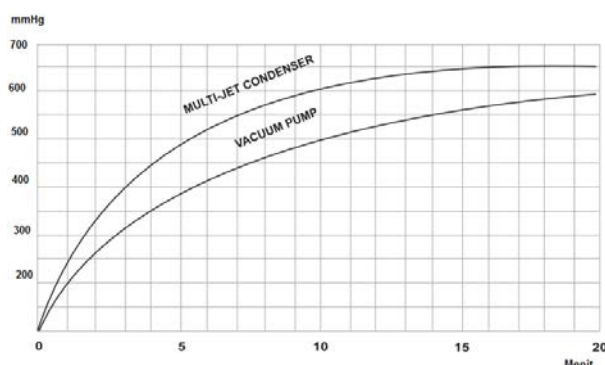
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemasangan *Multi Jet Barometric Condenser* berhasil menghilangkan kebutuhan akan *vacuum pump* karena vacuum yang dihasilkan terjaga stabil pada kisaran 650 s/d 660 mmHg. Parameter-parameter pada Vacuum pan dengan *Multi Jet Barometric Condenser* dan *Vacuum Pan* dengan kondenser lama disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Parameter pada Vacuum Pan

Parameter	Vacuum Pan A ( Multi Jet Condenser)	Vacuum Pan B (Barometric Condenser)	Units
Tekanan Vacuum	650	530	mmHg
Suhu Masecuite	60	75	C
Suhu Air Injeksi	35	35	C
Suhu Air Kondenser	45	47	C
Lama Masak	90	120	Menit

Waktu pembangkitan vacuum pada saat awal vacuum pan dioperasikan, penggunaan *multi jet barometric condenser* mampu menghasilkan hingga 650 mmHg dalam waktu 20 menit, sementara pada Vacuum pan standar hanya mencapai 530 mmHg.

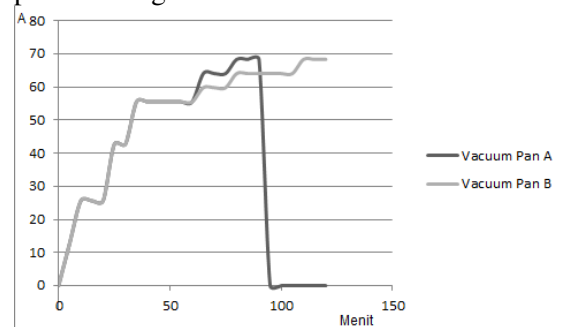


Gambar 13. Perbandingan kecepatan menghasilkan tekanan vacuum

Besar penghematan daya dari dihilangkannya vacuum pump untuk operasional selama satu hari penuh, dengan

operasional pompa selama 24 jam dan daya motor sebesar 45 Kw dengan penggunaan pada 75% arus nominal adalah sebesar 810 Kwh per hari.

Besar penghematan daya listrik yang digunakan pada motor agitator bisa dihitung dari grafik arus motor pada setiap siklus pemasakan gula berikut.



Gambar 14. Arus motor agitator

Konsumsi energi listrik pada *Vacuum Pan* dengan *Multi jet barometric condenser* adalah sebesar 40 Kwh per strike, dan pada *Vacuum Pan* standar adalah sebesar 56 Kwh per strike, sehingga untuk rata-rata 10 kali

strike dalam satu hari bisa didapatkan penghematan energi listrik sebesar 160 Kwh per hari. Secara keseluruhan penghematan energi listrik untuk Vacuum Pump dan Agitator adalah sebesar 970 Kwh per hari.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan *Multi Jet Barometric Condenser* terbukti dapat menghilangkan kebutuhan akan vacuum pump, sehingga dapat dihasilkan penghematan energi listrik sebesar 970 Kwh per hari untuk satu unit Vacuum Pan.

Modifikasi keseluruhan Vacuum Pan dengan kondenser tipe ini adalah sangat disarankan untuk digunakan pada ke sepuluh Vacuum Pan lainnya, sehingga secara keseluruhan akan bisa menghemat energi listrik hingga sebesar 11640 Kwh, yang jika dihitung dengan nilai harga energi listrik sekarang berarti sekitar 5,7 Juta Rupiah per hari.

Temperatur masak yang lebih rendah dan waktu masak yang lebih singkat, mengindikasikan penggunaan uap yang lebih sedikit, perlu dilakukan penelitian tingkat penghematan uap tersebut dengan memasang flow meter, sehingga bisa dimanfaatkan dalam melakukan optimalisasi pada tungku uap.

### DAFTAR PUSTAKA

- April, O. J., & Rouillard, E. E. A. (n.d.). Boiling viscous liquids in natural circulation vacuum evaporators z, 3–9.
- Astuti, R. D. (2010). *Laporan Magang di PT Dharmapala Usaha Sukses*. Universitas Sebelas Maret.
- British Petroleum. (2015). BP Statistical Review of World Energy, (June). Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:BP+Statistical+Review+of+World+Energy#0>
- Converti, A., & Borghi, M. Del. (n.d.). Vacuum Creating Equipment. Encyclopedia of Desalination and Water Resources.
- Hasan, M. H., Mahlia, T. M. I., & Nur, H. (2012). A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 2316–2328. doi:10.1016/j.rser.2011.12.007
- Joshi, K. (n.d.). By: Prof K. M. Joshi., SSAS Institue of Technology.
- Kencono, A. W., Adam, R., Baruna, E. S., & Ajiwihanto, N. (2014). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*. Jakarta: Kementrian Energy dan Sumber Daya Mineral.
- Lavarack, B., Hodgson, J., Broadfoot, R., Vigh, S., & Venning, J. (2004). Improving the Energy Efficiency of Sugar Factories: Case Study for Pioneer Mill. *Proceeding Australian Society of Sugar Cane Technology*, 26(2004).
- Ogden, J., Hochgreb, S., & Hylton, M. (1990). Process Energy Efficiency and Cogeneration in Cane Sugar Factories. Princeton. Retrieved from <http://www.princeton.edu/pei/energy/publications/texts/>
- Patel, C. T., & Patel, V. K. (2013). Efficiency with different GCV of coal and efficiency improvement. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, 2(5), 1518–1527.
- Peter W. Rein, L. F. E. and S. A. (2004). Circulation in vacuum pans. *Mechanical Engineering*, 24, 1–17.
- Rackemann, D. W., & Broadfoot, R. (2005). A NEW DESIGN OF JIGGER SYSTEM TO IMPROVE VACUUM PAN, 1–10.
- Rifai, F. (2013). Aplikasi Analisis Pinch untuk Menurunkan Konsumsi Steam di Bagian Process House Pabrik Gula, 7(1), 6–13.
- Santoso, B. (2014). Proses Pembuatan Gula dari Tebu pada PG X, (1), 1–5. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- Schuttle&Koerting. (2014). Barometric condensers. Trevoze: Schuttle&Koerting.
- SETNEG. PP NO 79 TAHUN 2014 TENTANG KEBIJAKAN ENERGI NASIONAL (2014). INDONESIA.
- Simatupang, R., Hafiz, M., & Sasongko, N. A. (2011). *Implementasi Konservasi Energi dan Pengurangan Emisi CO2 di Sektor Industri (Fase 1)*. Pusat Pengkajian Industri Hijau dan Lingkungan Hidup Badan Pengkajian Kebijakan, Iklim dan Mutu Industri.
- Wikipedia. (2015a). Liquid ring pump. doi:10.1016/0042-207X(53)90465-5
- Wikipedia, F. (2015b). Surface condenser, 1–6.
- Ziegler, J. (n.d.). Sugar Boiling the Syrups in the Vacuum Pans, 1–8.